

# 固体高分子形燃料電池の周囲磁界計測による電池内部の発電電流分布非接触測定法

キーワード: 固体高分子形燃料電池、非破壊検査、逆問題解析

【代表者】 後藤 雄治 准教授(大分大学)  
【共同研究者】 泉 政明 教授(北九州市立大学)、奈良 高明 教授(東京大学)

(所属・職位は採択当時のもの)

## 背景

- 固体高分子形燃料電池 (PEFC) は、発電までの起動時間が短く、低温(室温~100°C)での発電が行えるため、電気自動車や家庭用電源などへの使用に期待されている。【図1】
- 燃料電池の発電効率の向上には、燃料電池内部の固体高分子膜(MEA)の発電電流分布を明らかにすることが重要となる。
- 電流分布計測の既存手法は、計測装置の規模や測定用の燃料電池製作の必要性から、一般的な燃料電池への適応は困難とされている。

## 目的

- 発電によって燃料電池周囲に発生する微小な静磁界の大きさやベクトルの向き等は、MEA内部の発電分布に大きく影響される。この微小な空間磁界を測定し、逆問題解析を使用して、MEAでの発電電流分布を非接触で評価する手法を開発する。
- 既に設置済みの燃料電池装置の稼働を止める事無く、安価な磁界測定装置のみで燃料電池のMEA内での発電状況の評価を可能とする技術を確立する。

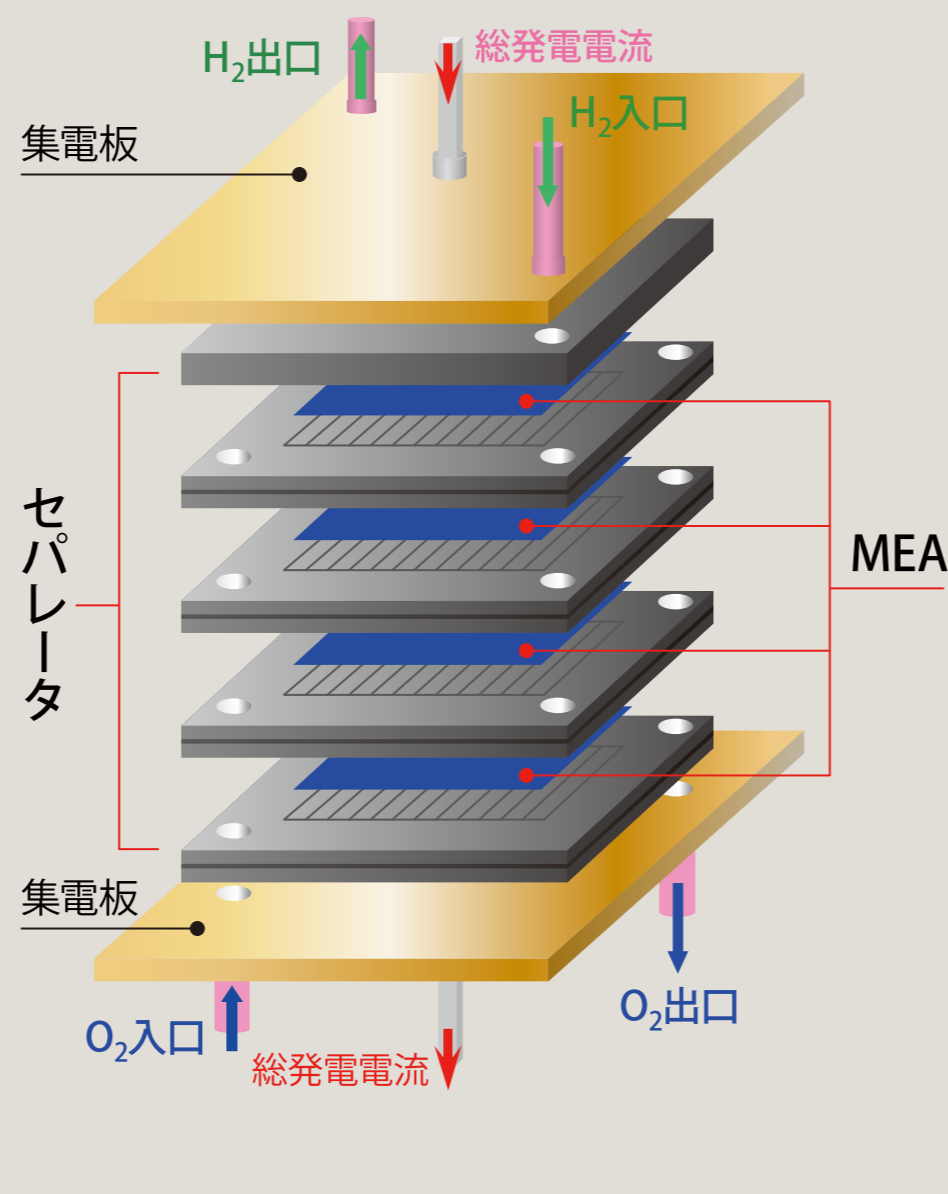


図1: スタック状の固体高分子形燃料電池の簡易構造

## 目的

- 燃料電池の構造を単純化するため、1枚のMEAのみを使用した単セル構造の固体高分子形燃料電池を研究対象とした。
- 発電に伴って燃料電池の周囲に発生する微弱な静磁界を、複数の高感度磁界センサ(MIセンサ)を利用して検出し、電池内部のMEA部における電流分布や非発電領域を逆問題的に推定する手法を検討した。【図2】
- 本研究は主に3大学の共同研究体制で、研究項目を分担して研究を進めた。【図3】

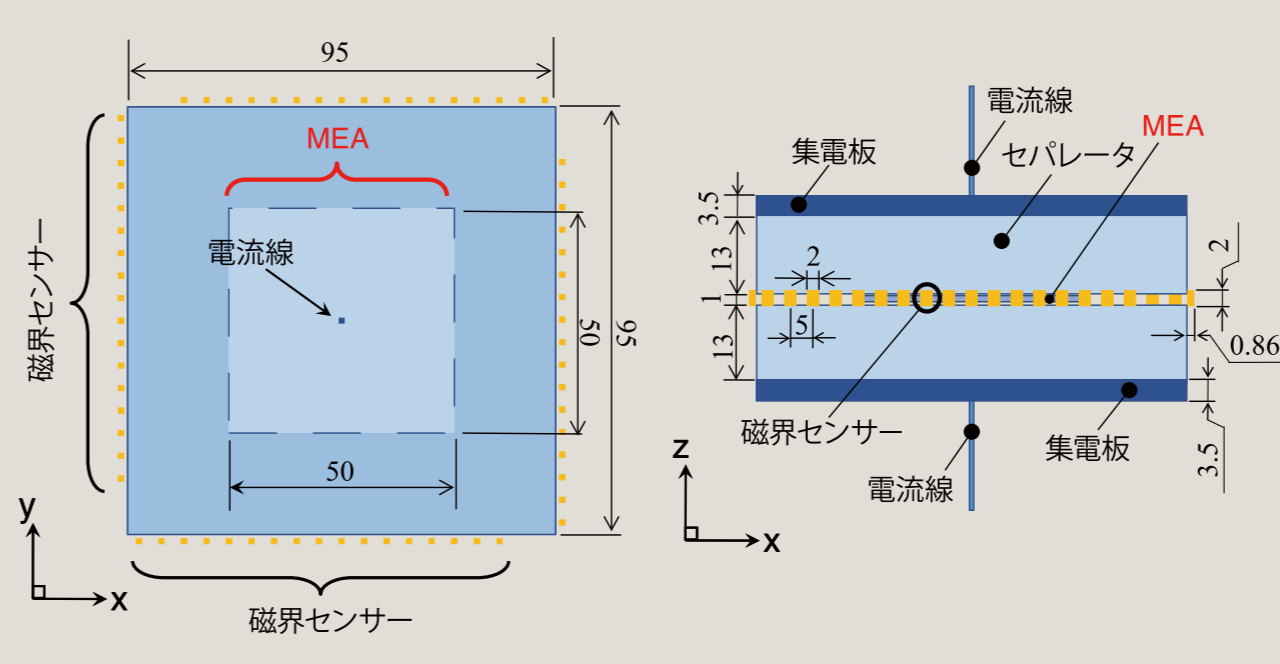


図2: 単セルによる固体高分子形燃料電池と周囲に設置する3軸磁界センサの配置

**研究開発統括者**  
大分大学・理工学部  
後藤雄治

**北九州市立大学・泉政明**  
● 固体高分子形燃料電池装置構築

**大分大学・後藤雄治**  
● 磁界計測システム開発  
● MEA内の発電電流分布の逆問題解析法の開発

**東京大学・奈良高明**  
● MEA内非発電領域の逆問題解析法の開発

## 1 試験用固体高分子形燃料電池の作成

【担当】泉 政明(北九州市立大学)

- 燃料電池は50°C以下の任意の作動温度を保つと共に温度制御用の恒温槽を製作。恒温槽の筐体および断熱層は非磁性材料を使用し、離れた位置で発生させた熱を恒温槽内に導く。【図2】
- 単セル構造の燃料電池は、電流出し電線が空間磁界に影響を及ぼさないよう、電流出し端子と電線は燃料電池の中央上下に設置。【図4】発電電流分布の均等化のため、水素や酸素を通すセパレーター内の流路はストレート構造とした。【図5】
- 人工的に10mm角の非発電領域を設けたMEAも作成し、非発電領域が存在しても全体として総発電電流2A~3Aの範囲内では安定した定電流発電ができる条件設定を確立した。【図6】
- 発電中の水素と酸素の流量は、それぞれ200ml/minおよび1000ml/minに設定することで、総発電電流2.8Aを約10分間維持する事が可能となった。なお、このときの水素と酸素の利用率はそれぞれ71%と24%で、出力電圧は0.45V、燃料電池の温度は34°Cであった。

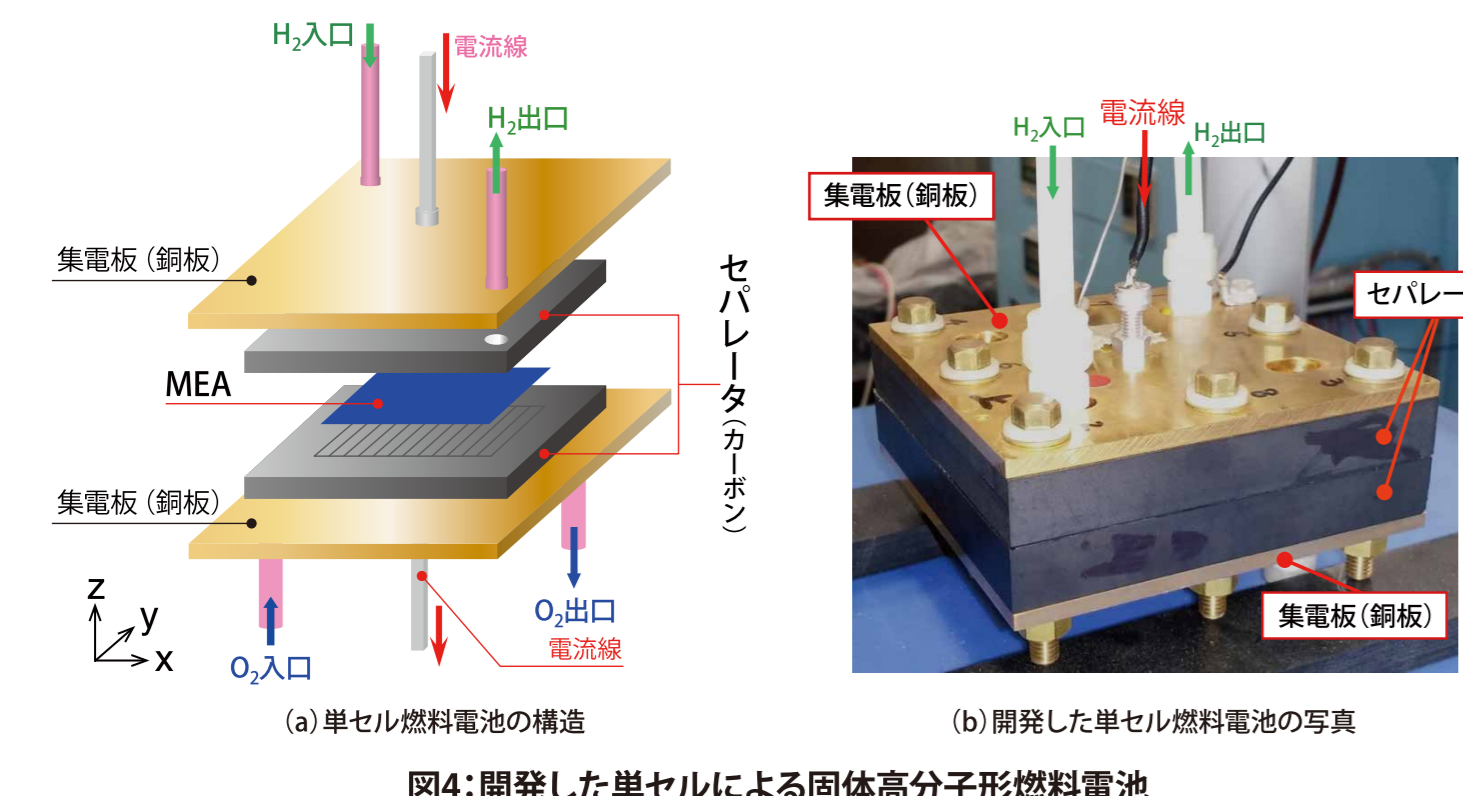


図4: 開発した単セルによる固体高分子形燃料電池

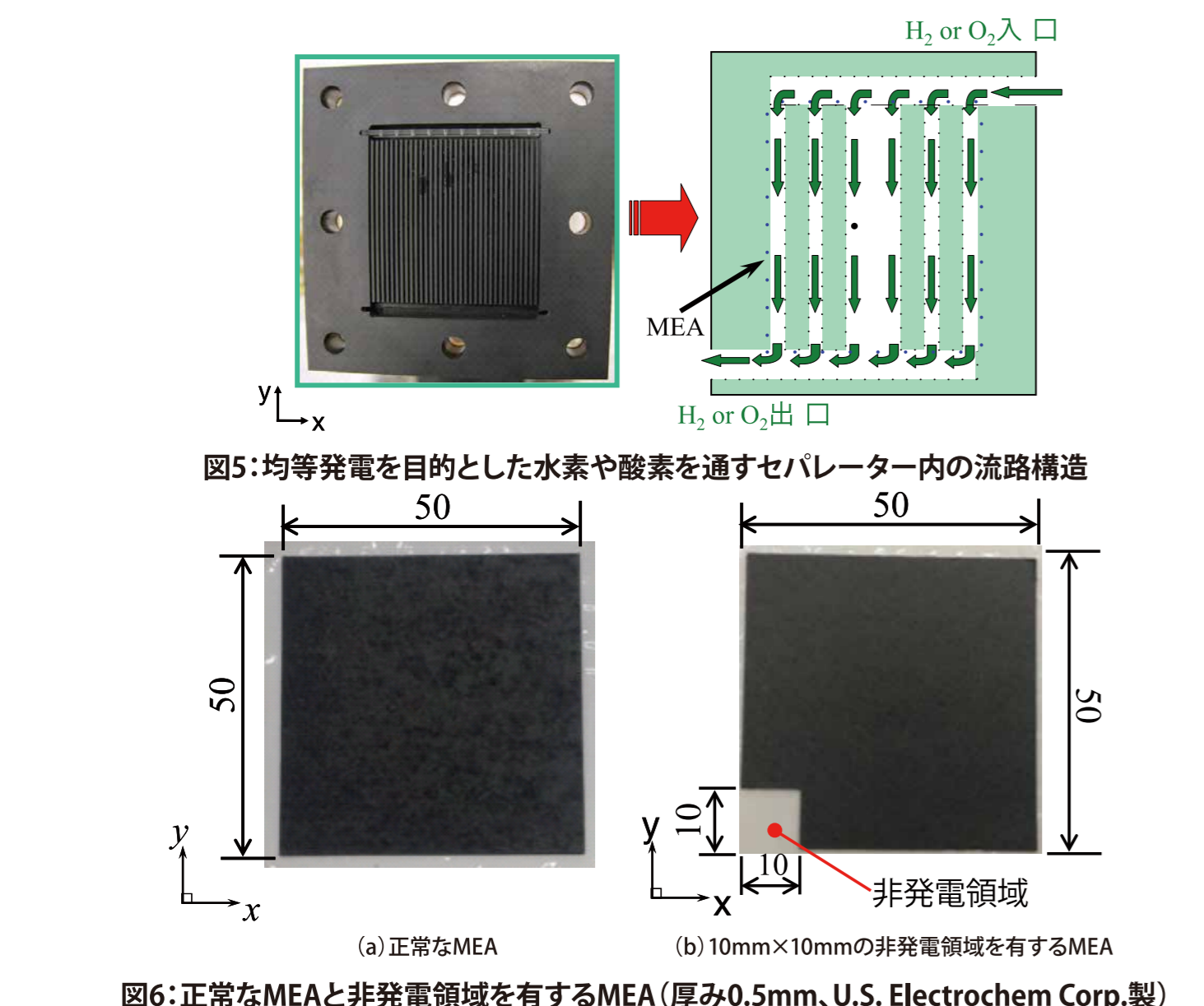


図5: 均等発電を目的とした水素や酸素を通すセパレーター内の流路構造

図6: 正常なMEAと非発電領域を有するMEA(厚み0.5mm, U.S. Electrochem Corp.製)

## 2 燃料電池の周囲磁界測定システム及びMEA内の発電電流逆問題解析法の開発

【担当】後藤 雄治(大分大学)

- 空間磁界測定システムとして、燃料電池の周囲に1辺に17個(全周68個)の3軸磁界センサを非接触で配置し、3軸磁界値の10回測定平均値を検出。空間磁界測定データをPCに蓄積するシステムを開発した。【図7】
- 総発電電流が2.8A時で欠損が無い状態での空間磁界測定結果【図8】では、発電された電流は、図中の+z方向から-z方向に向けて、右ねじの方向に静磁界を発生している。
- MEA部のみでの発電電流分布を、進化戦略法を使用した逆問題解析で推定する検討として、非発電領域を設けたMEAを用いて発電を行い、その空間磁界値を使用して、【図6(b)】の非発電領域での電流値が小さく評価されるかについて検討を行った。

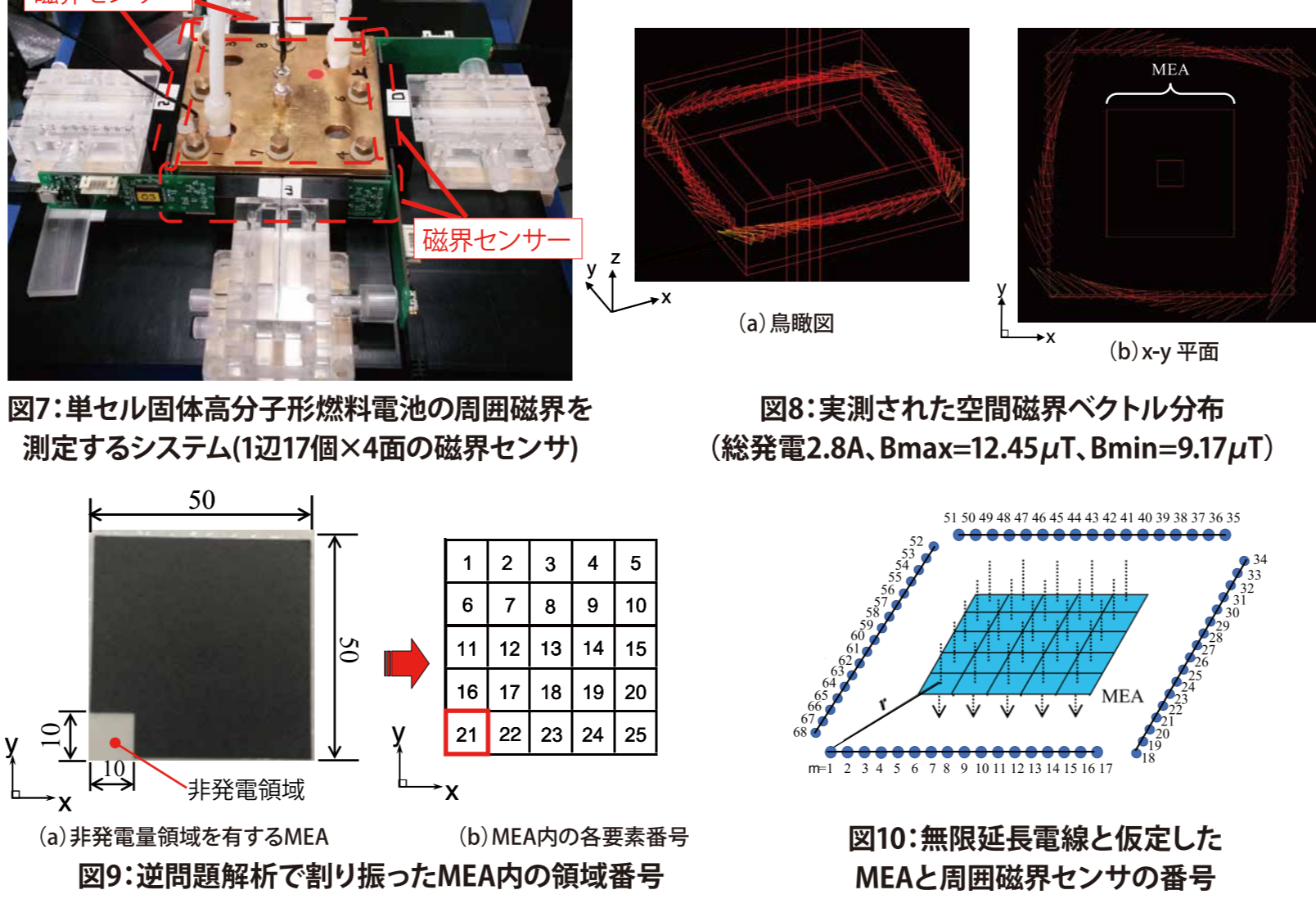


図7: 単セル固体高分子形燃料電池の周囲磁界を測定するシステム(1辺17個x4面の磁界センサ)

図8: 実測された空間磁界ベクトル分布(総発電2.8A, Bmax=12.45μT, Bmin=9.17μT)

図9: 逆問題解析で割り振ったMEA内の領域番号

図10: 無限延長電線と仮定したMEAと周囲磁界センサの番号

- 【図9】のようにMEAを25領域に分割して符号化(非発電領域は21番に相当)し、25分割したMEAを±z方向に無限延長の電線と仮定し、アンペールの方程式で各磁界センサの位置での磁界を計算した。【図10】
- MEA内の非発電領域(【図9(b)】の21番および9番領域)の電流分布推定を行った結果、いずれの場合も当該領域内の電流値は極端に値が低く評価された。【図11】
- 更にMEA内の分割数を25分割から400分割に変更して逆問題推定を行った。分割数が増えた結果、発電分布に多少のバラツキはあるが、非発電領域では発電電流値が低く表れる傾向がある。【図12】

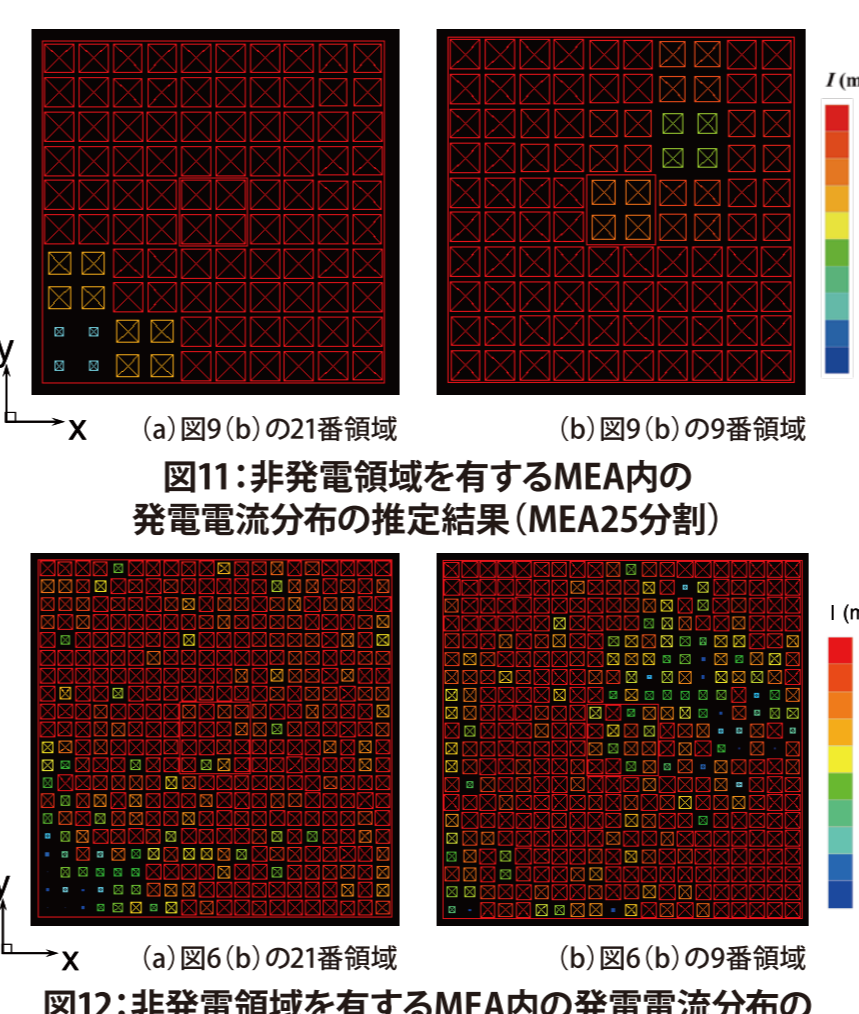


図11: 非発電領域を有するMEA内の発電電流分布の推定結果(MEA25分割)

図12: 非発電領域を有するMEA内の発電電流分布の推定結果(MEA400分割)

## 3 MEA内における非発電領域の逆問題推定法の開発

【担当】奈良 高明(東京大学)

- 【図13】のようにx-y平面上の正方形領域をMEAとし、色で塗りつぶした領域を非発電領域とする。「非発電領域はレベルセット関数と呼ばれる図中の曲面をx-y平面で切断したときの断面形状である」と考え、その上で、非発電領域以外に発電電流が流れ、その電流が生成する磁界分布に合うように、レベルセット関数を最適に動かして非発電領域の形状や個数を求める。

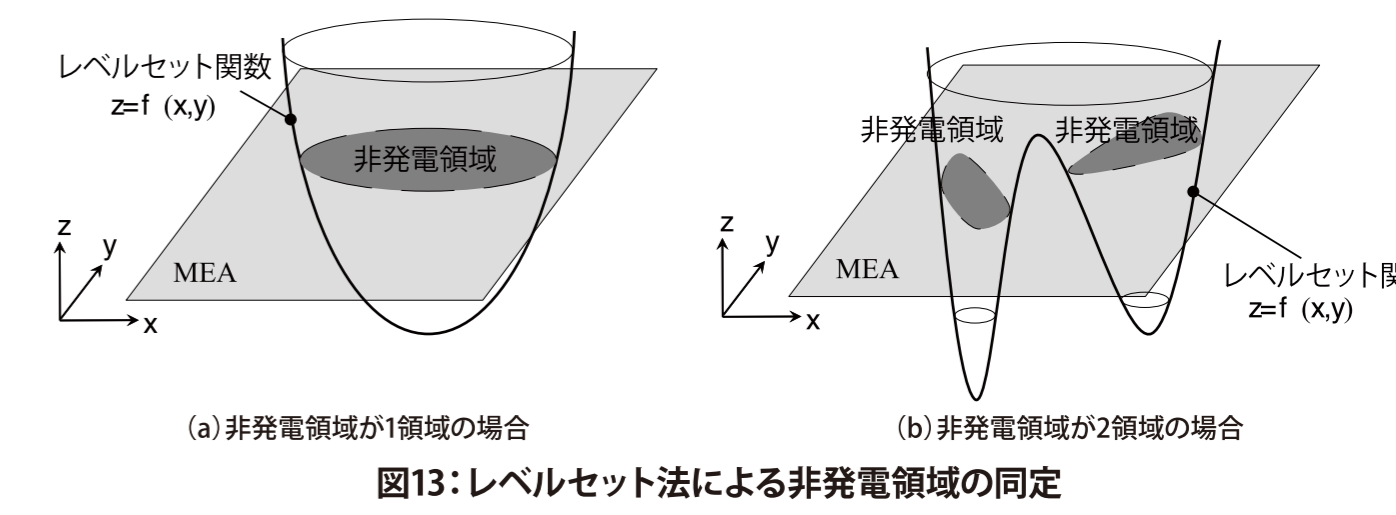


図13: レベルセット法による非発電領域の同定

- 数値シミュレーション結果  
【図14】のMEA内部に非発電領域(黒枠)が2箇所存在する場合に、周囲に分布する静磁界を予め有限要素法の電磁界解析で計算。計算された静磁界分布にSN比が40dBとなるようガウシアンノイズを加え擬似データとする。  
● 図中(A): 燃料電池周囲磁界分布を実測値と仮定した初期値。  
● 図中(B): 繰返し反復計算750回目の途中経過。非発電領域が2領域に分離。  
● 図中(C): 反復計算が1500回目では収束し、真の箇所の非発電領域が推定された事から、本手法で非発電領域の個数を仮定せずに推定が可能なる事も理解できる。
- 非発電領域を設けたMEA【図6(b)】を用いて発電を行い、その実測で得られた空間磁界値から、本提案手法で推定が可能かを検討。【図15】  
(A)の初期値から反復計算を開始し、(B)の計算回数750回目では、ほぼ非発電領域の個数が判断されている。その後、(C)の反復計算1500回目では収束し、真値の非発電領域【図6(b)】が正しく推定されている。

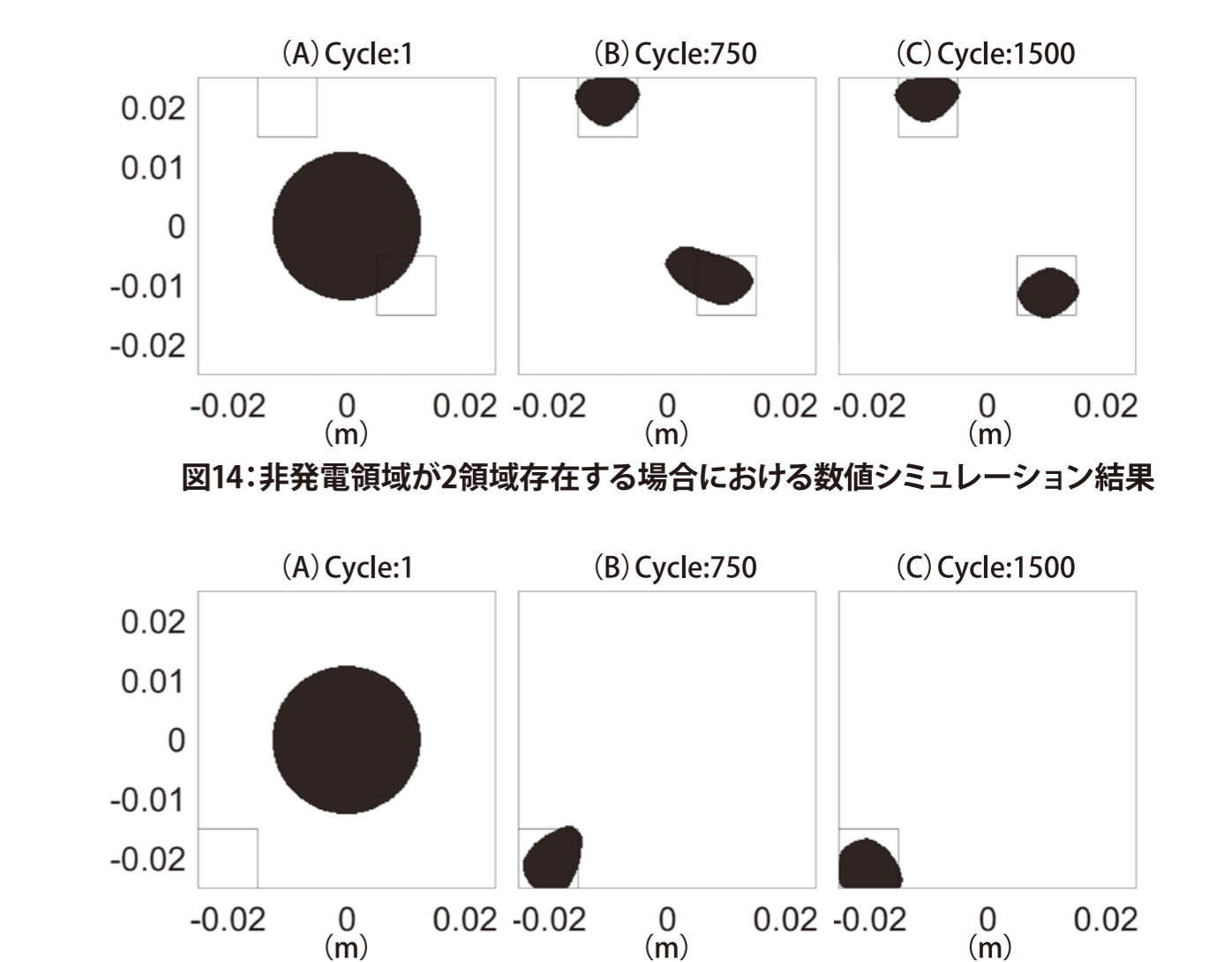


図14: 非発電領域が2領域存在する場合における数値シミュレーション結果

図15: 実測された燃料電池の周囲磁界を使用した非発電領域の推定結果

今後の成果活用

## 電気自動車や家庭用電源など燃料電池の普及促進により、持続可能な先進エネルギー・低炭素社会の構築へ

- 本提案手法は非接触での検査法のため、発電駆動を止めることなく、電池の性能に影響を与えずに燃料電池内の電流分布が評価できるというメリットがあり、電気自動車や家庭用燃料電池への適応が期待できる。
- 今後は、MEA内の電流分布や推定できる非発電領域の分解能を向上させ、スタック状の燃料電池での評価にも展開できる実績を積み重ねると共に、家庭用燃料電池や自動車メーカーおよび燃料電池関連企業に、世界的規模で情報発信を行う。

